

水と三大穀物と粘土・コロイドを教材に用いた学習プログラム

Learning program used in teaching the three major grain and colloidal clay and water

水野克己 (みずの かつみ)
大幸工業株式会社 次長

1. はじめに

視覚で理解と確認できる「読み、書き、算盤」の徹底で「基礎学力」が向上する。しかし、「触る、観察する、俯瞰する」の継続で「センスの本能」が芽生える。水・食料問題や環境問題の解決を図るには、ナノレベルまでの数字や数値をスケール感と直感で理解する能力と、次元の異なる世界を俯瞰(ふかん)できる人材育成が急務であり、五感で感じることができない原子の大きさである 10^{-15} のフェムトレベルの放射能汚染問題に立ち向かうために、最初乗り越えなければならない重要なステップである。

三大穀物のトウモロコシ粒・米粒・小麦粉と、大地に存在する粘土・コロイド(鉱物粒子)には「水」と「粘り」という共通のキーワードがある。視覚で確認できる礫・砂・シルト(石粉)とトウモロコシ粒・米粒がある。また、素手や舌で触らないと感じることが出来ない粘土・コロイドと小麦粉がある。そして、お粥のような滑らかな粘りや、お餅のような強靱な粘りがあるように、マイクロレベル(粘土)とナノレベル(コロイド)の粘りには、次元の違いがある。

粘土・コロイドは、大きな比表面積と陽イオン交換容量を有する薄片状超微粒子である。水との相互作用から「粘り(stickiness)」が生じる粘土・コロイドは、物理的性質(粒径と重量の関係)を眼で観察できる。また、可視化できない電気・力学的性質(水量と体積変化の関係)を素手で体感観察できる。プラズマなど電気エネルギーや熱エネルギーを体感観察すると危険が伴う。しかし、粘土・コロイドとのポテンシャル(潜在的)な相互作用から派生する水和エネルギー(hydration energy)は、「振動しないマッサージ器」のようなモノである。このため、素手で粘土をこね返すことで、身体の奥深くから感じる思考のないダイナミックな快感が得られる¹⁾²⁾。

本論は、高校生から社会人までの一般市民を対象にした、水と三大穀物と大地に存在する粘土・コロイドを教材に用いた学習プログラムの紹介である。なお、小中学生以下は親子を対象としている。

補助教材として、粘土に相当するカオリンやコロイド(鉱物粒子)に相当するベントナイトや、シリカを原料にした合成スメクタイトや、石油を原料にした吸水性樹脂並びに高分子凝集剤や木材を原料にした CMC(カルボキシルメチルセルロース)を用いた。

2. 学習プログラムの課題

眼視による分解能は、 $1/10\text{mm}$ と言われている。しかし、 $100\mu\text{m}$ 、 0.0001m など色々な呼び方がある。そこで、国際単位系の SI 接頭辞で表記すると 10^{-4}m となる。ヒトの平均身長は $1.7\times 100\text{m}$ であり、これを基準に SI 接頭辞表記では 1 すなわち 100 としている。十進数表記で示される 0.001 はミリ (milli)、0.000 001 はマイクロ (micro)、0.000 000 001 はナノ (nano) と SI 接頭辞では呼び方が定められている。

JIS A 1204 では、コブル(丸石)の粒径は $300\text{mm}\sim 75\text{mm}$ 、「礫」の粒径は $2\text{mm}\sim 75\text{mm}$ 、「砂」の粒径は $0.075\text{mm}\sim 2\text{mm}$ 、「シルト(石粉)」の粒径は $0.005\text{mm}\sim 0.075\text{mm}$ 、「粘土」の粒径は $0.001\text{mm}\sim 0.005\text{mm}$ 、コロイド(鉱物粒子)の粒径は 0.001mm 以下である。そして、水分子の大きさは $3\times 10^{-9}\text{m}$ 、トウモロコシ粒の大きさは $10\text{mm}\sim 20\text{mm}$ 、米粒の大きさは $3\text{mm}\sim 5\text{mm}$ である。

しかし、レーザ回折散乱法粒子径分布測定による小麦粉の粒径分布は $0.000, 1\sim 0.000, 002\text{m}$ で、「粘土」の粒径分布は $0.000, 2\sim 0.000, 000, 2\text{m}$ と次元が異なる広がりがある。

1cm の立方体(固体)を微細に分割して $1\mu\text{m}$ の立方体の粒子にすると、個数は 1 兆倍に、表面積は 1 万倍になる。 1nm にするとさらに桁が上がる。このため、物理・化学的性質などの特性が大きく変わる。文献に頼った経験が伴わない知識では、比表面積 $20\sim 10\text{m}^2/\text{g}$ カオリナイトなどの粘土と、比表面積 $600\sim 650\text{m}^2/\text{g}$ のベントナイトなどのコロイドの水和エネルギーの次元の違いは理解できない。

まして、国際単位系の SI 接頭辞を、通貨の単位で使われる漢字表記で置き換え、1 は一、0.001 は千分の一、0.000, 001 は百万分の一、0.000, 000, 001 は十億分の一と、判りやすく表現しても、礫・砂・シルトと次元の異なる粘土・コロイドまでの粒径を、スケール感と直感で理解し、ナノレベルまでの次元の異なる世界を俯瞰(ふかん)することは難しい。

3. 学習プログラムの概要

3.1. 粒径と重量の関係

学習プログラムでは、地元で産出される粘土を準備する。ここで粘土とは、工学的分類体系で示される細粒分が 50%以上含む砂質粘土やシルト質粘土である。まず、

粘土を素手で触り、粘りを何度も体感観察する。水を入れたバケツに、粘土をほぐしながら分散させる。2mm と 500 μ m と 75 μ m の篩いを準備する。分散させた泥水を、水道水で洗いながら篩いで分級する。2mm 以上の礫や 2mm ~500 μ m の砂、500 μ m ~75 μ m の砂を素手で触り、粒径と重量の違いを体感観察する。

篩で礫と砂を除いた 75 μ m 以下のバケツに沈降したシルトとブラウン運動で浮遊する微粒子を観察する。礫、砂、シルトには、粘りが無いことを、素手で触って視覚と体感観察で理解する。なお、この体験型学習は、専門的な研究ではない。このため、試験の精度は無視する。

3.2. 水量と体積変化の関係

粘土をこね返し、水分量を変化させていくと粘土の性状が変化する。水分がきわめて多いときにはドロドロの液状である。さらに水分が多いと粘土は体積沈降する。逆に水分量を次第に少なくすると粘り気がでてネバネバの塑性状になる。さらに、水分量が少なくなるとボロボロの半固体状からコチコチの固体状になる。

液性限界が 50%前後の粉状粘土(カオリナイト)と、液性限界が 500%以上の粉状コロイド(ベントナイト)を準備する。粉状粘土と粉状コロイドの入った容器に、水を入れ練り混ぜ団子状態にする。さらに液性限界付近まで水を入れ練り混ぜる。ドロドロとネバネバとボロボロとコチコチを素手で体感観察する。液性限界 500%以上のベントナイトは、教材として取り扱いが難しい。ここでは、粉末 Na 型ベントナイト(フィロ珪酸塩鉱物)を極性溶媒でインターカレーション(Intercalation)した。

次に、カオリナイトとベントナイトを同じ重量比で分散させた分散液を準備する。そして、同じ重量比で高分子凝集剤や CMC を添加混合すると、お粥のような滑らかな粘りと、お餅のような強靱な次元の異なる粘りが観察できる。なお、カオリナイトやベントナイトなどの収縮限界は 15~20%、塑性限界は 40~50%であり、含水比の幅は狭い。しかし、液性限界は 100~650%まで極端に幅広い¹⁾。このため、塑性限界や液性限界や体積沈降の境が捉えにくい。よって、事前に吸水性樹脂など補助教材として用いて、液性限界と体積沈降の違いを説明補完する。

3.3. 粘りを消滅させ「粘りの元」を知る

小麦粉などタンパク質は燃やせば、粘りが永久に消滅する。しかし、粘土・コロイドは、陶器のように約 650 $^{\circ}$ C まで焼成するか、磁器のように約 1,300 $^{\circ}$ C 以上で熔融させることで、永久に粘りが消滅する。これが礫、砂、シルトと本質的な違いである。

粘土にセメント混ぜて固化した団子をつくる。石のように硬くなった団子をトンカチで細かく砕き、粘土からシルト(石粉)を作る。また、粘土に塩を混ぜ、粘りが消滅したサラサラとした性状を体感観察する。粘りが消滅した粘土から、「粘りの元」は、汚れのない水と粘土・コロイドの水和エネルギーによる相互作用であることを説明する。また、粘土・コロイドは油も吸着する。コーン

油など植物性油脂を準備して、極性が異なる溶媒を用いたベトベトする泥団子を作り粘りの違いを観察する。

4. 学習プログラムのガイドライン

4.1. 学習プログラムとモノづくり

モノづくりとは、モノと技術の相互作用を規則化することである。このため、次元が異なる素材を可視化することで、別の次元で視点を変え考えることができる。土木建設分野における建設機械の振動篩いは、10mm の礫までである。水処理施設における水洗による篩いも、砂までである。シルト(石粉)と粘土・コロイドはサイクロンフィルターを用いた分級である。粘土・コロイドの存在がフィルタープレスなどの脱水性に大きく影響し、粘土・コロイドの存在が土壌改良や汚染土壌を洗浄する工程で重要な要素となる。農業においては、粘土・コロイドのミネラル分と保水性と気候風土が地産地消文化を育てる要となる。また、数字や数値を直観的に理解する能力は、産業界におけるマクロ経済学のフロー(flow)とストック(stock)を理解する上でも重要なことである。

4.2. 学習プログラムとヒトづくり

ヒトづくりとは、自然とヒトと生命は水惑星地球という根底から繋がりにあることに、モノとヒトとコトに心を置き換えて気づくことである。石粉を原料にした油粘土しか触った記憶がない方。田植えや泥に浸かる経験がない方。粘土は汚く、気持ち悪い。手が荒れると言われる方。粘土に対して過去に不幸な経験の持ち主には、まず、うどん打ちや蕎麦打ち(蕎麦掻きでも可)や酵母を用いたナン(パン)作りで粘り感じ、水とタンパク質の相互作用による粘りで慣れる。粘土・コロイド、土壤菌、だんご虫やミミズなどの動植物などが、ヒトの健康の害となる放射能など有害物を捕捉し緩衝材となっている。そして、命あるヒトには、代謝によってエネルギー(ヒトの温もり)を生むことに気づく。大地に共に住む動植物などの犠牲の元に人間社会が成り立っていることを語り合い、ゆったりとした時の流れのなかで、楽しく学習プログラムを進めていくことが大切である。

4.3. 学習プログラムと言語

英語はラテン文字に代表されるアルファベットが一つの音価を表記する音素文字であるのに対し、日本語の漢字は基本的に、一つの意味(形態素)と一つの音節を表す。粘土や砂などの漢字は語源からイメージできるが、シルトやコロイドなどのカタカナは、意味を知らないと理解できない。

果乗の言い方で n 回(times)の 10 と書かれた英単語では、例えばエレベーターの様に、いきなりダイレクトに n 回の階層に思考が到達する。日本語は、例えば階段を一段一段、モノとヒトとコトを体感観察して 10 の n 乗(回数)の階層に思考がたどり着くことができる。

また、日本語は母音を変えたり、子音を濁音にしたり

して同じ音を繰り返す擬態語が非常に多い。擬態語とは、モノの様子、コトの状態を音によって感覚的に表現した言葉である。水と三大穀物と粘土・コロイドを教材に用いた学習プログラムは、ドロドロやネバネバやボロボロやコチコチやサラサラやベトベトなど会話が成り立つ擬態語の表現力を高めることができる。このため、日本語と英語言語の違いを十分に理解した上で学習プログラムを説明する思いやりと配慮が大切である。

5. まとめ

地盤工学で学ぶ液性塑性試験や体積沈降試験や粒度分布試験を応用した学習プログラム(Science stickiness)は、誰でもが簡単に体験観察できる。しかし、さらに有意義に学習プログラムを補完するには、示差熱重量分析装置、走査型電子顕微鏡 (SEM)、透過電子顕微鏡 (TEM)、蛍光 X 線検査装置など高価な分析装置が必要となる。

研究施設が完備した大学を拠点に、学校担当者や企業担当者を経由して父兄や子供たち並びに企業社員に体験観察ができる環境と組織作りが最大の課題である。

学習教材の開発では、財団法人 地域地盤環境研究所、栗田工業 株式会社、クミネ工業 株式会社、株式会社ホーゲン、MTアクアポリマー 株式会社など多くの企業と関係機関から支援頂いた、謝辞を表します。

参考文献

- 1) 水野克己・近藤三二・嘉門雅史(2003)：各種ベントナイトのコンシステンシー特性およびその他の基礎的特性に関する研究(総論), 粘土科学第 43 巻, 第 1 号, 日本粘土学会, pp.1-13.
- 2) 水野克己・近藤三二(2001)：ベントナイトの特性と環境汚染防止分野への応用, 土と基礎, 2001 年, 2 号, Vol.49, No.2, Ser.No.517,
- 3) 水野克己・佐藤道明(2004)：地盤工学会技術業績賞を受賞して, 土と基礎, 2004 年, 9 号, Vol.52, No.9, Ser.No.560, pp61.

次元の異なる世界を観察する

粘土・コロイドの層間水は、約 650℃まで焼成しないと蒸発しない。そして、結晶水は約 1,300℃以上で溶融させることで消滅する。水と礫・砂・シルトと粘土・コロイドには、ジュール (joule) で表せる化学的性質とニュートン (newton) で表せる物理的性質がある。その分岐点は、粒径で示すとマイクロ (10^{-6}) 付近であり、土質のコンシステンシーで表すと、 w_L/I_p 液性限界/塑性指数 = 1.2~1.3 である³⁾。



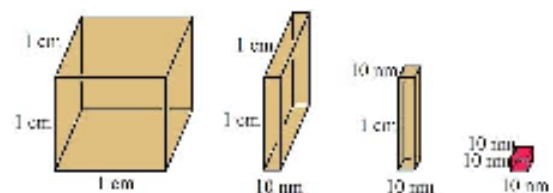
国際単位系のSI接頭辞を観察する

接頭辞と記号は、単語の意味と単語を記憶しないと理解できない。漢数字表記は、漢字の語源からイメージできる。十進数表記は、1から0.000,000,000,001までを縦に並べると絵(対数)で俯瞰できる。

| 10^n | 接頭辞 | 記号 | 漢数字表記 | 十進数表記 |
|------------|-------------|-------|---------|-------------------|
| 10^0 | メートル(m) | | 一 | 1 |
| 10^{-1} | デシ(dec) | d | 十分の一(分) | 0.1 |
| 10^{-2} | センチ(cent) | c | 百分の一(厘) | 0.01 |
| 10^{-3} | ミリ(mill) | m | 千分の一(毛) | 0.001 |
| 10^{-6} | マイクロ(micro) | μ | 百万分の一 | 0.000 001 |
| 10^{-9} | ナノ(nano) | n | 十億分の一 | 0.000 000 001 |
| 10^{-12} | ピコ(pico) | p | 一兆分の一 | 0.000 000 000 001 |

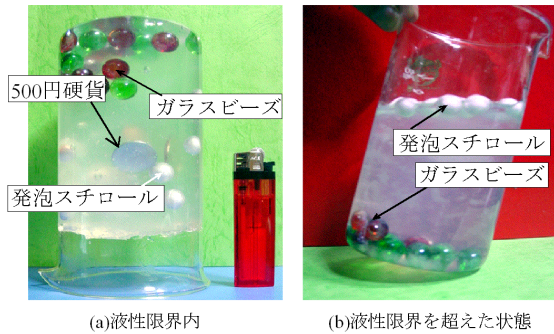
粘土・コロイドの物理・化学的特性を可視化する

立方体を微細に分割すると物理・化学的性質などの特性が大きく変わると言っても素人には判りづらい。10cm四方の粘土ブロックと縦横 10cm 厚さ 1cm の粘土板を 10 個用意する。粘土ブロックは 6 面体だが、粘土板は 2 面体が 10 個 + 4 面体ある。粘土ブロック 1 個と粘土板 10 個の表面を水で濡らすとヌルヌルと粘る。双方とも体積も重さも同じであるが、粘土板 10 個の方が 6 倍 (24 面体 ÷ 6 面体) の粘りがあることが体感観察できる。



粘土・コロイドの水和エネルギーを可視化する

多くの鉱物や滞積物を含む泥を透視することは不可能である。純水(蒸留水でも可)と粉状合成スメクタイトを準備する。純水に合成スメクタイトを重量比で 2%添加混合する。合成スメクタイトは、不純物を含まないため分散液の透過率は約 10%である。水に僅か 2%合成スメクタイトを分散させた無色透明溶液の粘度は、33,000~6,000(mPa・s)である。わずか 2%の重量比で、ピンポン玉の浮力とビー玉の重力を水和エネルギー(化学的性質)が制御している様子が観察できる。



非常食になった粘土・コロイド

カリブ海の島国ハイチ共和国は、国内米より輸入米が安いことで自給自足が崩壊した。写真は、高原から産出する泥土状の黄土を布で濾し、小麦を 3~4 割程度混ぜた泥クッキー(mud cookies)を天日乾燥する風景である。この泥には酸を中和する作用があり、カルシウムが豊富に含まれていることから、昔から女性や子供たちに珍重されてきた。しかし、水害や震災で食糧難となり、コメが食べられるのは週 1 回となった。泥クッキーは、トウモロコシやポテトが買えない貧困層の飢えをしのぐ非常食になった。

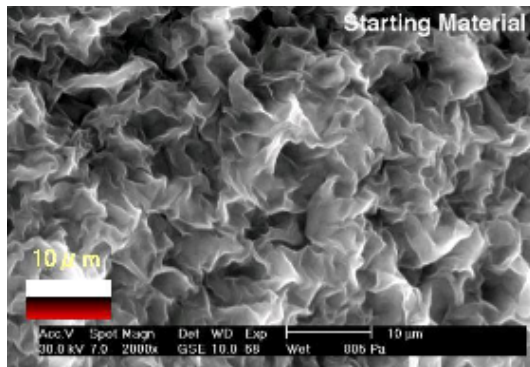


Open Hand International "Healing Waters Project

<http://mysite.verizon.net/vzew93m6/ohmtg/index.html> より

粘土・コロイドのナノレベルを観察する

環境制御型の電子顕微鏡(ESEM)は、真空状態を保たなくとも、サンプルの周りを空気や水蒸気などの環境条件でナノレベルの観察を可能にする。写真は、山形県月布産の精製ベントナイトのあるがままの姿の微細形態画像である。ベントナイトの結晶は、ティッシュペーパーのように薄く軟らかく、不規則な薄板状粒子の集合体であることが判る。



シルトと粘土・コロイドの違いを分別する

写真は、日本円で1枚7円の泥クッキーを食べるハイチの子供である。砂をかむようなシルトと滑らかな舌触りの粘土・コロイドの違いは、舌の感覚で分別ができる。しかし、水の豊かさと飽食に慣れたヒトにとって、粘土・コロイドを舌で感じるには勇気が必要である。



Open Hand International "Healing Waters Project

<http://mysite.verizon.net/vzew93m6/ohmtg/index.html> より